

# **Technologiebericht**

## **7.1 Elektromobilität – Pkw/LNF**

### **(energiewirtschaftliche Aspekte)**

### **innerhalb des Forschungsprojekts**

### **TF\_Energiewende**

---

Markus Landau

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



**Fraunhofer**  
**IWES**

**Disclaimer:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03ET4036A-C durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts liegt bei den Autoren und Autorinnen.

**Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:**

Landau, M. (2018): Technologiebericht 7.1 Elektromobilität – Pkw/LNF (energie-wirtschaftliche Aspekte). In: Wuppertal Institut, ISI, IZES (Hrsg.): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.

**Hinweis:**

Die multi-kriterielle Bewertung und generell die Erstellung dieses Berichts basiert auf den Vorgaben, die in Teilbericht 1 beschrieben sind:

Viebahn, P.; Kobiela, G.; Soukup, O.; Wietschel, M.; Hirzel, S.; Horst, J.; Hildebrand, J. (2017): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 1 (Kriterienraster zur Bewertung der Technologien innerhalb des Forschungsprojekts TF\_Energiewende) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal Institut, Fraunhofer ISI, IZES: Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.

**Kontakt:**

Markus Landau

Tel.: +49 561 / 7294 - 228

Fax: +49 561 / 7294 - 200

E-Mail: markus.landau@iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer IWES

Königstor 59

34119 Kassel

**Review durch:**

Till Gnann (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>Zusammenfassung (Steckbrief)</b>	<b>8</b>
<b>1 Beschreibung des Technologiefeldes</b>	<b>11</b>
<b>2 Stand der F&amp;E in Deutschland</b>	<b>17</b>
<b>3 Bewertung der Relevanz öffentlicher Forschungsförderung</b>	<b>18</b>
3.1 Kriterium 1: Vorlaufzeiten	18
3.2 Kriterium 2: Forschungs- und Entwicklungsrisiken (technisch, wirtschaftlich, rohstoffseitig)	18
<b>4 Detaillierte Bewertung des Technologiefeldes</b>	<b>24</b>
4.1 Kriterium 3: Marktpotenziale	24
4.2 Kriterium 4: Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionsminderungszielen	27
4.3 Kriterium 7: Inländische Wertschöpfung	27
4.4 Kriterium 8: Stand und Trends von Forschung und Entwicklung im internationalen Vergleich	28
4.5 Kriterium 9: Gesellschaftliche Akzeptanz	28
4.6 Kriterium 10: Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit	30
4.7 Kriterium 11: Abhängigkeit von Infrastrukturen	31
4.8 Kriterium 12: Systemkompatibilität	32
<b>5 F&amp;E-Empfehlungen für die öffentliche Hand</b>	<b>34</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>36</b>

## Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen

### Abkürzungen

B.A.U.	Business-as-usual
BHKW	Blockheizkraftwerk
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung

### Einheiten und Symbole

%	Prozent
€	Euro
°C	Grad Celsius
TWh	Terra Wattstunden
TJ	Terra-Joule (1.012 Joule)
PJ	Peta-Joule (1.015 Joule)

## Tabellenverzeichnis


Tab. 1-1	Daten zur energiewirtschaftlichen Bewertung von E-Pkw -----	15
Tab. 1-2	Ausgangsdaten zur Energiewirtschaftlichen Bewertung von E-Pkw/LNF in Deutschland -----	16
Tab. 3-1	Aktuelles Entwicklungsstadium des Technologiefeldes Elektromobilität für Pkw/LNF – konduktives AC- und DC-Laden ohne intelligentes Last- und Energiemanagement, individueller Zugang zu öffentlichen Ladepunkten verschiedener Betreiber -----	20
Tab. 3-2	Aktuelles Entwicklungsstadium des Technologiefeldes Elektromobilität für Pkw/LNF – interoperables induktives Laden, konduktive DC-Schnellladung > 150 kW , intelligentes Last- und Energiemanagement inklusive Energierückspeisung, Einbindung in effiziente DC-Netze -----	21
Tab. 3-3	Bewertung technischer und wirtschaftlicher Forschungs- und Entwicklungsrisiken in Zusammenhang mit Technologiefeld Elektromobilität für Pkw/LNF -----	23
Tab. 4-1	Ausgangsdaten zur energiewirtschaftlichen Bewertung von E-Pkw/LNF in Deutschland -----	25
Tab. 4-2	Analyse des nationalen Marktpotenzials für das Technologiefeld Elektromobilität von E-Pkw/LNF in Deutschland -----	26
Tab. 4-3	Jährlich vermiedene Treibhausgas-Emissionen durch Technologiefeld Elektromobilität für Pkw/LNF in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall (jeweils in Spannbreiten) -----	27
Tab.-4-4	Internationale Aufstellung der deutschen Industrie hinsichtlich des Technologiefeldes Elektromobilität für Pkw/LNF -----	28
Tab. 4-5	Bewertungsraster für die Akzeptanz von Technologiefeld Elektromobilität für Pkw/LNF zum Status Quo (2017) -----	30
Tab. 4-6	Abhängigkeit des Technologiefeldes Elektromobilität für Pkw/LNF von Infrastrukturen -----	32

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1	Fahrzeugbestand, Fahrleistung, Treibstoffverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emission der Pkw in Deutschland für das Jahr 2015. ....	11
----------	---	----



## Zusammenfassung (Steckbrief)

<b>Technologiefeld Nr. 7.1</b> <b>Elektromobilität – Pkw/LNF</b> <b>(energiewirtschaftliche Aspekte)</b>	 <b>Fraunhofer</b> <b>IWES</b>				
<b>A) Beschreibung des Technologiefeldes und F&amp;E-Bedarf</b>					
<b>Beschreibung des Technologiefeldes</b>					
Elektro-Kraftfahrzeuge (Pkw und leichte Nutzfahrzeuge) nutzen elektrische Energie, die sie einem im Fahrzeug verbauten Batteriespeicher entnehmen. Der Batteriespeicher wird mit Strom aus dem elektrischen Netz geladen. E-Kfz stehen in der Form des rein batterieelektrischen Fahrzeugs mit großem Batteriespeicher und in Form des Plug-in-Hybriden mit deutlich kleinerem Batteriespeicher zur Verfügung. Mit zunehmender Leistungsfähigkeit des Batteriespeichers bei gleichzeitiger Senkung der Speicherkosten werden mittel- bis langfristig Plug-in-Hybride aufgrund ihres höheren technischen Aufwandes den batterieelektrischen Fahrzeugen weichen. E-Kfz besitzen Potenzial für das Lastmanagement und (mit ausreichend großem Speicher) zur Energierückspeisung (Vehicle-to-Grid – V2G).					
Technologische Reife: Demonstration (TRL-5) bis Kommerzialisierung (TRL 9): Nationale und internationale Demonstrationsprojekte für Lastmanagement und Netzzurückspeisung (V2G)					
Kritische Komponenten: Ausbau der Ladeinfrastruktur, verbesserte Batterietechnologie und günstigere E-Kfz, komfortable und sichere Ladeverfahren inklusive Zugang und Abrechnung					
<b>Entwicklungsziele</b>					
Senkung der Batterie- und Fahrzeugkosten, Steigerung der Batterieenergiedichte (mit dem Zweck der Reichweitenerhöhung), Nutzung der Flexibilität für das Last- und Netzmanagement, komfortable einfache Netzkopplung, bedarfsgerechtes V2G (auch in Verbindung mit automatisiertem Fahren).					
<b>Technologie-Entwicklung</b>					
<b>Deutschland</b>	<b>Einheit</b>	<b>2017</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Bestand Pkw/LNF	Mio.	47,3 (1.1.2016)	50	36,1– 45,6	32,2 – 44,4
Marktpotenziale E-Kfz		55 Tsd.	1 Mio.	6 – 7,3 Mio.	30,2 – 39,6 Mio.
Stromverbrauch	TWh	<< 0,1	1,3 – 1,8	17,3 – 31,9	70,8 – 104,4
Ausbau öffentliche Ladeinfrastruktur	Ladepunkte	DC: > 300 AC: > 5.800	> 5 Tsd. > 15 Tsd	k. A.	k. A.
private Ladeinfrastruktur		55 Tsd.	0,7 Mio.	4,2 – 5,1 Mio.	21- 28 Mio.
<b>F&amp;E-Bedarf</b>					
– Optimale Auslegung der Stromzufuhr, Ladepunkte und Ladeleistungen (auch unter regionalen Aspekten wie vielbefahrenen Straßen, Wohn- und Arbeitsquartieren, Systemintegration Erneuerbarer Energien) – Entwicklung geeigneter Technologien und Prozesse zur weitgehend flexiblen Stromnachfrage und damit Befähigung zum Lastmanagement – Akzeptanzanalysen bezüglich komfortabler / günstiger Ladetechnologien und Entwicklung geeigneter günstiger Techniken - Analyse des Effizienzpotenzials durch lokale Gleichstromnetze in Verbindung mit Gleichstromquellen und Entwicklung geeigneter Techniken					



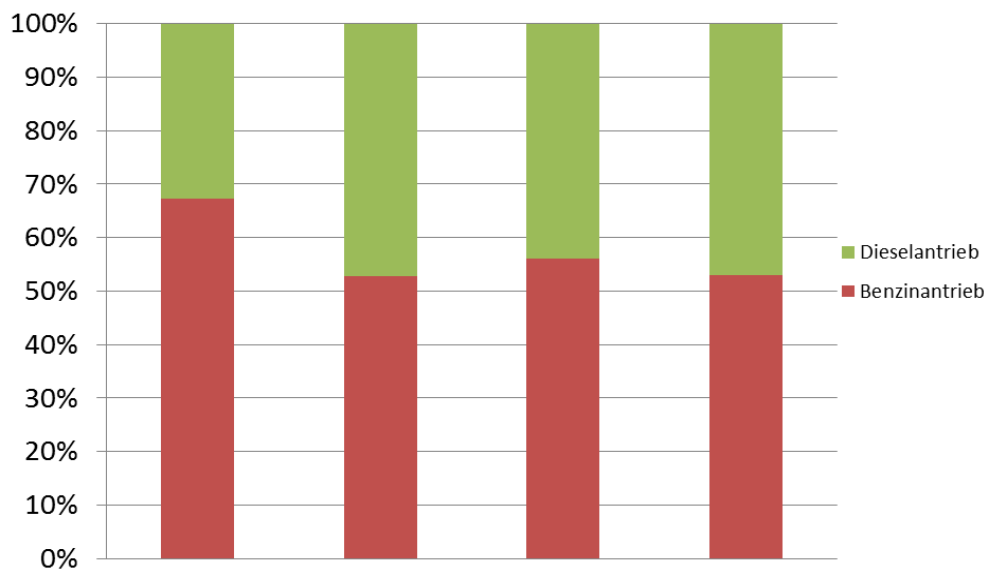
<b>B) Multikriterielle Bewertung</b>
<b>Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionsminderungszielen</b>
Im Jahr 2030 können von den angenommen Strommixemissionen des E-Kfz-Bestands (192 t CO <sub>2</sub> /MWh) zwischen 30,1 und 67,6 Mio. t CO <sub>2-äq</sub> /a eingespart werden. Für das Jahr 2050 erhöhen sich die Einsparungen auf 90,3 bis 111,6 Mio. t CO <sub>2-äq</sub> /a (100 % EE-Strom, Anteil E-Pkw: 77–95%.)
<b>Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz</b>
Durch den Einsatz von E-Kfz kann der Einsatz von Öl als Brennstoff für die Pkw und leichten Nutzfahrzeuge bis 2050 nahezu vollständig entfallen.
<b>Inländische Wertschöpfung</b>
Aufgrund der hohen zusätzlichen Nachfrage nach Strom kann inländische Wertschöpfung im Bereich der Erneuerbaren Energien und im Stromsektor allgemein entstehen. In Deutschland wird der Ausbau des öffentlichen Ladenetzes mit öffentlichen Mitteln gefördert. Hier und durch den notwendigen Aufbau von privater Ladeinfrastruktur (derzeit nicht gefördert) entsteht (lokale) Wertschöpfung.
<b>Stand und Trends von F&amp;E im internationalen Vergleich</b>
In Deutschland und international sind vielfältige F&E-, Demonstrations- und Investitionsaktivitäten um die E-Mobilität festzustellen. China reizt den Erwerb von E-Kfz besonders an und setzt Quote. In den USA entsteht die größte Li-Ion-Batteriefabrik (Tesla), die auch Hausstromspeicher liefert. Deutsche Unternehmen forcieren die Entwicklung der Schnellladetechnik bis zu 400 kW. In Verbindung mit F&E zum autonomen Fahren werden komfortable automatisierte Schnellladeprozesse möglich.
<b>Gesellschaftliche Akzeptanz</b>
<p><i>Politische Akzeptanz gegeben:</i> Bisher keine klare Fokussierung auf einen Kraftstoff in Deutschland. Optionen zum Ausbau der Infrastruktur für alternativer Treibstoffe (z. B. Wasserstoff) werden offen gehalten. Staaten wie die Niederlande und Norwegen setzen auf mittelfristige Zulassungsverbote von Fahrzeugen mit fossilen Brennstoffen.</p> <p><i>Marktakzeptanz unklar:</i> Deutscher E-Kfz-Bestand trotz finanzieller Förderung gering, hohe Fahrzeugkosten, Wertverlust unklar, wenige E-Kfz-Typen, aber Fahrdynamik und Geräuschpegel begeistern.</p> <p><i>Vor-Ort-Akzeptanz gegeben:</i> Kommunen räumen E-Kfz Privilegien ein (Zufahrt in Umweltzone, freie Parkplätze). Veränderung des Stadtbildes durch Ladetechnik könnte Akzeptanzprobleme fördern.</p>
<b>Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abhängigkeit von Infrastruktur, Ausbau der Ladeinfrastruktur inklusive der Versorgungsnetze ist teuer und muss eine gewisse Mindestabdeckung und -auslastung erreichen.</li> <li>– Reaktionsfähigkeit gering, da Ladeinfrastruktur am Wohnort und beim Arbeitgeber aufzubauen ist.</li> </ul>
<b>Abhängigkeit von Infrastrukturen</b>
Geeignetes elektrisches Ladenetzwerk benötigt, dabei kann nicht mit einem schnellen und flächendeckenden Aufbau von privater und öffentlicher Ladeinfrastruktur gerechnet werden.
<b>Systemkompatibilität</b>
Geschickter Infrastrukturaufbau und gesteuertes Batterieladen kann eine signifikante Netzbelastung vermeiden. Die Nutzung von Schnellladestationen kann das nutzbare Flexibilitätspotenzial reduzieren.

***Vorbemerkung:*** Der Verkehrssektor gehört nicht zum Untersuchungsstand dieser Studie. Allerdings sollen die energiewirtschaftlichen Auswirkungen neuer Verkehrstechnologien mit betrachtet werden. Diese werden in Anlehnung an die übliche Technologiebeschreibung durchgeführt, weichen aber in einigen Punkten wegen des besonderen Zuschnittes davon ab.

## 1 Beschreibung des Technologiefeldes

Im Bereich des Personenverkehrs ist nach (UBA 2017) in Deutschland der durchschnittliche Energiebedarf je Personenkilometer im Zeitraum von 1995 bis 2014 gesunken, wobei die erzielten Einsparungen seit 1995 bei den PKW 11 % betragen. Insgesamt ist der Gesamtenergiebedarf, bedingt durch die angestiegene Leistung an Personenkilometern, jedoch leicht gestiegen (BMVI 2016).

Der Pkw-Verkehr ist dabei für gut zwei Drittel der CO<sub>2</sub>-Emission des Verkehrssektors (ca. 159 Mio. t CO<sub>2</sub>) verantwortlich, mit steigender Tendenz. Die CO<sub>2</sub>-Emission kommt dabei jeweils zur Hälfte von Benzin- und Dieselfahrzeugen (vgl. Abb. 1-1 ).



	Pkw-Bestand zum 1.1.2016	Fahrleistung	Treibstoff- verbrauch	CO <sub>2</sub> - Emissionen
Einheit	Mio. Stück	Mrd. km	Mrd. Liter	Mio. Tonnen
Benzin <sup>*)</sup>	30,0	328,0	25,5	59,5
Diesel	14,5	294,3	20,0	52,7
Summe	44,5	622,3	45,3	112,2

<sup>\*)</sup> Die Rubrik „Benzin“ beinhaltet auch Hybrid- und E-Fahrzeuge, jedoch keine Gasfahrzeuge. Der Auswertung des Statistischen Bundesamtes liegen u. a. Daten des Deutschen Institutes für Wirtschaftsforschung (DIW) zu Grunde. Das DIW rechnet bei den Ottofahrzeugen inklusive der Hybrid- und Elektrofahrzeuge und sonstiger Antriebsarten, jedoch ohne Gasfahrzeuge (Erd- und Flüssiggas).

**Abb. 1-1 Fahrzeugbestand, Fahrleistung, Treibstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emission der Pkw in Deutschland für das Jahr 2015.**

Quelle: Destatis (2016)

Um die Emissionen massiv zu mindern, müssen alternative Antriebe zu den heute üblichen Benzin- und Dieselmotoren eingeführt werden, die keine oder deutlich weniger klimarelevante Emissionen verursachen.

Im Pkw-Bereich sind verschiedene technische Antriebskonzepte derzeit verfügbar. Reine *batterieelektrische Pkw (BEV)* sind vom kleinsten Fahrzeugsegment der Minis bis zu leistungsstarken Sportwagen verfügbar. Die verbauten Batterien ermöglichen Normreichweiten zwischen 100 und 500 km, teilweise auch über 500 km. In Verbindung mit einem Netzwerk von Ladepunkten mit hohen Gleichstromleistungen (DC-Leistungen) von 50 kW und darüber sind Batterieladungen schnell möglich. Für die Ladung von sehr großen Batterien wird eine maximale DC-Ladeleistung von zunächst 150 kW und danach bis zu 400 kW angestrebt.

Zur Erhöhung der Reichweite bietet der Fahrzeugmarkt batterieelektrische Fahrzeuge an, die zusätzlich über einen *Range-Extender* verfügen, sogenannte REEV. Der Range-Extender ist heute ein benzinbetriebener Stromgenerator, der die Batterie während der Fahrt kontinuierlich nachlädt.

Das *Plug-in-Hybridfahrzeug (PHEV)* verfügt über zwei vollständige Antriebe: einen batterieelektrischen Antrieb und einen klassischen Verbrennungsmotor. Beide Antriebe können einzeln oder im System für den Fahrbetrieb verwendet werden. Die Normreichweite im reinen Elektrobetrieb beträgt heute zumeist um 50 km. Während der Fahrt wird der Batteriespeicher durch die Rückgewinnung von Bremsenergie oder den vom Verbrennungsmotor angetriebenen und generatorisch arbeitenden Elektroantrieb geladen. Das Plug-in-Konzept erlaubt auf kurzen Strecken die rein elektrische Fahrt. In Verbindung mit einer günstig verteilten Ladeinfrastruktur sind eine Vielzahl von täglich anfallenden Wegen (INFAS und DLR 2010) rein elektrisch möglich. Eine längere Wegstrecke wird mit dem Verbrennungsmotor bewältigt. Ein Fahrzeugwechsel ist ebenso wenig erforderlich wie ein dichtes elektrisches Lade-Netzwerk. Diesem Vorteil steht der hohe Aufwand der Hybridtechnik entgegen. Mit zunehmender Leistungsfähigkeit des Batteriespeichers bei gleichzeitiger Senkung der Speicherkosten wird mittel- bis langfristig die Plug-in-Hybridtechnik aufgrund des hohen Aufwandes reinen batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) weichen.

BEV benötigen zwingend eine elektrische Ladeinfrastruktur. Für elektrische Pkw wäre die Aufladung der Batterie über Nacht möglich, da die typischen Wegstrecken in dem Bereich liegen, für den die notwendige Batterieaufladung auch mit niedriger Leistung über mehrere Stunden zur Sicherstellung der Mobilität in der Regel ausreichend ist.<sup>1</sup> Engpässe können sich dabei bei der Umsetzung von wohnortnahen Ladepunkten ergeben, da diese in der Regel auf privaten Liegenschaften zu errichten und zu betreiben sind. Alternativ oder additiv zum wohnortnahen ist das arbeitsnahe Laden zu nennen. Für die Bewältigung langer Wege, beispielsweise Urlaubsreisen, werden Schnellladepunkte benötigt, um den für die Batterieladung erforderlichen Zeitaufwand auf ein für den Nutzer akzeptables Maß zu begrenzen.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Dies ist im schweren Güterverkehr nicht der Fall, da Wegstrecken in der Regel länger sind und notwendige Antriebsleistungen viel höher liegen.

<sup>2</sup> Bei einer längeren Strecke werden 10 bis 15 Minuten Pause nach jeweils zweistündiger Pkw-Lenkzeit empfohlen. Mit der Annahme einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 100 km/h und einem Verbrauch von 20 kWh/100 km ist eine Ladeleistung zwischen 160 und 240 kW erforderlich, um keine Reiseverzögerung durch Batterieladezeiten in Kauf nehmen zu müssen.

Der Aufbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur wird im Zeitraum von 2017 bis 2020 mit 300 Mio. Euro vom Bund gefördert. Das Ziel ist es, öffentliche Normalladepunkte und Schnellladestationen in Deutschland aufzubauen. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur hat die „Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland“ veröffentlicht und erstmals am 15.02.2017 zur Antragseinreichung aufgefordert. Darüber hinaus unterstützen auch Bundesländer mit eigenen Programmen den flächendeckenden Aufbau von Ladeinfrastruktur.

Die Bewertung der Entwicklung energiewirtschaftlicher Aspekte von Elektro-Pkw ist vor dem Hintergrund der sehr unterschiedlichen Signale zeitlich sehr schwer möglich. Im Folgenden werden diese Signale kurz aufgegriffen:

■ Deutsche Politik setzt Anreize durch Förderprogramme, aber kein Ultimatum für den Ausstieg

Einerseits hat der Bund bereits 2008 durch den Bundesverkehrsminister das Ziel verkündet, dass bis zum Jahr 2020 in Deutschland 1 Mio. Elektrofahrzeuge zugelassen sein sollen. Im August 2009 wurde der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität verabschiedet. Modellregionen und Schaufenster für Elektromobilität sollten den Markt vorbereiten und den Hochlauf unterstützen. Im März 2016 wurde der Umweltbonus für Elektrofahrzeuge beschlossen und im Oktober folgte die Ankündigung eines Förderprogramms für den Aufbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur in Deutschland. Trotz dieser Maßnahmen betrug der Anteil an E-Pkw im Januar 2017 weniger als 0,1 % der in Deutschland zugelassenen Pkw.

Andererseits gibt es kein einstimmiges Ultimatum der Politik für den Ausstieg aus der Verbrennertechnologie, wie dies die europäischen Länder Norwegen und die Niederlande bereits ab 2025 umsetzen wollen. Frankreich und Großbritannien planen ein Zulassungsverbot für Verbrennerfahrzeuge ab 2040. China plant eine gesetzliche Quote<sup>3</sup>.

Angesichts der europäischen Vorgaben zur Begrenzung der CO<sub>2</sub>-Emission<sup>4</sup> von neuen Pkw und leichten Nutzfahrzeug besteht jedoch bereits seit mehreren Jahren eine technologieoffene Zielformulierung der Politik. Bis zum Jahr 2015 waren die Emissionen der Pkw-Fahrzeugflotte in Stufen auf 120 g/km zu reduzieren. Ab dem Jahr 2020 beträgt der Pkw-Flottenzielwert 95 g/km. Für leichte Nutzfahrzeuge liegt der CO<sub>2</sub>-Zielwert derzeit bei 175 g/km und ist auf 147 g/km bis zum Jahr 2020 zu senken.

In Verbindung mit dem anhaltenden Verkaufserfolg von beispielsweise schweren SUV (Sport Utility Vehicle) können diese Zielwerte jedoch nur mit einem hohen Anteil an energieeffizienten Dieselmotoren eingehalten werden. Diese wiederum erfüllen zur Zeit in großem Maßstab nicht die Anforderungen an die geltenden Stickoxyd-Grenzwerte. Elektrische Hybridfahrzeuge mit Benzinmotoren oder Mo-

<sup>3</sup> Weltweit wurden im Jahr 2015 über 72 Mio. Pkw erstmals zugelassen. Dabei entfiel gut ein Drittel auf China. China verfolgt den Plan eine Neuzulassungsquote für E-Pkw von 8 % ab 2019 gesetzlich vorzuschreiben.

<sup>4</sup> Die beiden Verordnungen EG Nr. 443/2009 (EU, 2009) und EU Nr. 510/2011 (EU, 2011) regulieren die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Pkw-Neuwagen und neuen leichten Nutzfahrzeugen (LNF).

toren für alternative Kraftstoffe (z. B. Erd- und Flüssiggas) sind die alternative Option, die Fahrzeug-Flottengrenzwerte zu erreichen

#### ■ Automobilhersteller bieten begrenztes Fahrzeugangebot

Die meisten Fahrzeugmodelle sind heute ausschließlich mit einem Verbrennungsmotor verfügbar, jedoch soll das Angebot an BEV und PHEV jährlich wachsen. Bis zum Jahr 2020 haben die Fahrzeughersteller mehrere elektrische Fahrzeugmodelle angekündigt. Dies kann als konservative und abwartende Strategie der Automobilhersteller interpretiert werden.

#### ■ Aufbau der Ladeinfrastruktur

Mit der „Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland“ wird der Aufbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur umgesetzt. Insgesamt soll damit der Aufbau von ca. 5.000 Schnellladestationen und 10.000 Langsamladesäulen gefördert werden.

Das Kraftfahrt-Bundesamt berichtet in (KBA 2011) von einem durchschnittlichen Pkw-Fahrzeugalter von 8,3 Jahren. Dabei werden Fahrzeuglebensdauern bis zu 20 Jahren und in geringem Maß auch darüber erreicht. Im Normalfall bedeutet dies, dass es gut 2 Jahrzehnte dauert, bis nahezu alle Pkw einmal erneuert werden. Ein deutsches Ziel, dass 2050 Pkw rein elektrisch fahren, wäre damit nur zu erreichen, wenn ab 2030 überwiegend E-Pkw zugelassen würden.

Für die Stromnachfrage ist die Anzahl der batterieelektrischen Pkw und der Plug-in-Hybriden/Range-Extender von Bedeutung. Nach (BuW 2017) ist der aufwändige Plug-in-Hybrid als Übergangslösung zu betrachten. Mittelfristig werden neben dem batterieelektrischen Pkw auch die Plug-in-Hybride/Range Extender-Fahrzeuge eine Rolle spielen, wie der Studienvergleich von (Gnann et al. 2017) nahe legt. Langfristig sollte aufgrund des deutlich geringeren Aufwandes für den Antrieb von rein elektrischen Batteriefahrzeugen ausgegangen werden, die vollständig aus erneuerbaren Energiequellen zu versorgen sind. In Tab. 1-1 sind verschiedene Ausgangsdaten für die energiewirtschaftliche Bewertung von E-Pkw zusammengefasst. Die Angaben für den Stromverbrauch und den Flexibilitätsbedarf des Netzes sind (Bundesnetzagentur 2016) entnommen. Dem Verhältnis von privater Ladeinfrastruktur zu den E-Pkw liegt eine Quote von 70 %<sup>5</sup> zugrunde. Der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur wird seit 2017 mit öffentlichen Fördermitteln mit dem Ziel getrieben, den Aufbau von zusätzlich 10.000 Normal- ( $\leq 22$  kW) und 5.000 Schnellladestationen ( $> 22$  kW) anzureizen. Die Bundesnetzagentur erfasst dabei neue Ladeeinrichtungen und veröffentlicht den jeweils aktuellen Stand.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Es wird angenommen, dass die Anzahl der Ladevorgänge an öffentlichen Ladepunkten perspektivisch gegenüber der 15 %-Annahme in (NPE, 2015) zunimmt. Hierfür spricht der verstärkte Aufbau von öffentlichen Schnellladepunkten.

<sup>6</sup> Vgl. [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte_node.html)

**Tab. 1-1     Daten zur energiewirtschaftlichen Bewertung von E-Pkw**

	Einheit	2017	2020	2030	2050
Marktpotenziale Bestand Deutschland E-Kfz	Fahrzeuge im Bestand	55 Tsd.	1 Mio. <sup>1)</sup>	6 – 7,3 Mio.	30,2 – 39,6 Mio.
Jahresstromverbrauch / Flexibilitätsbedarf	TWh	<< 0,1	1,3 - 1,8 <sup>2)</sup>	17,3 – 31,9	70,8 – 104,4
Ausbau öffentliche Ladeinfrastruktur	Ladepunkte ≤ 22 kW	> 5.800	> 15.000	k. A.	k. A.
	> 22 kW	> 300	> 5.000	k. A.	k. A.
Private Ladeinfrastruktur	Ladepunkte	55 Tsd.	0,7 Mio.	4,2 – 5,1 Mio.	21 – 28 Mio.

<sup>1)</sup> Das Ziel eines Bestandes von einer Million in Deutschland zugelassener E-Fahrzeuge besteht weiterhin, auch wenn das Erreichen verstärkt bezweifelt wird.

<sup>2)</sup> Eigene Berechnungen mit Daten aus (BuW 2017, S. 163), der Annahme einer Jahresfahrleistung von 14 Tkm mit einem niedrigen Durchschnittsverbrauch von 15 kWh/100 km und einem höheren von 20 kWh/100 km.

Quellen: (Bundesnetzagentur, 2016), (BMUB, 2015), (Fraunhofer IWES/IBP, 2017) und eigene Abschätzungen

Für die weitere energiewirtschaftliche Bewertung für Pkw/LNF wurden – analog zur Technologiebewertung für schwere Nutzfahrzeuge – die Klimaschuttszenarien der Studie (BMUB 2015) ausgewählt. Diese erscheinen gerade in Hinblick auf die künftige Minderung von Verkehrsaufkommen und die Reduktion der Anzahl der Pkw/LNF sehr ambitioniert. Deswegen wurden aus dem Projekt Strom – Wärme – Verkehr zusätzlich zwei Verkehrsszenarien<sup>7</sup> aus der Studie Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr (Gerhardt et al. 2015), welche in (Fraunhofer IWES/IBP 2017) fortgeführt wurde, verglichen. Grundsätzlich sind alle untersuchten Szenarien im Bereich Pkw/LNF technologiekonservativ<sup>8</sup>. Zudem ist das aktuelle Klimaziel des Verkehrs bis 2030 aus dem Klimaschutzplan nicht berücksichtigt.

In der folgenden Tab. 1-2 sind die Ausgangsdaten für die weitere energiewirtschaftlichen Bewertung von E-Pkw und leichten Nutzfahrzeugen (LNF) zusammengefasst.

Das Szenario ISWV\_83% (vgl. Gerhardt et al. 2015) berücksichtigt, dass ganz Europa mindestens das untere Klimaziel einer Reduktion von -80% THG gegenüber 1990 einhalten muss, woraus eine höhere Anrechnung für Deutschland mit einem Ziel von -83% THG resultiert. Des Weiteren ist berücksichtigt, dass auch im nicht Kyoto-relevanten internationale Flug- und Seeverkehr Emissionen reduziert werden müssen. Für den Verkehr wurde, in Anlehnung der BMVI-Verkehrsverflechtungsprognose, ein weiter ansteigendes Verkehrsaufkommen unterstellt. In Summe resultiert aus diesen Anforderungen ein relativ hoher nationaler Stromverbrauch von ca. 800 TWh in 2050.

<sup>7</sup> Zum Vergleich werden das untere Klimaschuttsziel (ISWV\_83%) und das obere Klimaschuttsziel (ISWV\_95%) bei gleichbleibendem Pkw-Bestand aber stärkerer Verkehrsverlagerung herangezogen.

<sup>8</sup> Die Annahmen sind, dass der Verbrennungsmotor langfristig als einziger Antrieb und in Hybridfahrzeugen zum Einsatz kommt, die Reichweite von BEV begrenzt ist und automatisches Fahren keine Anwendung findet.

Das Szenario ISWV\_95% unterstellt eine vollständige Dekarbonsierung des Energiesektors einschließlich des Verkehrs bis 2050. Die restlichen Emissionen von 5 % THG fallen nur noch im nichtenergetischen Bereich an (Landwirtschaft, nicht-CO<sub>2</sub>-Emission der Industrie). Für den Verkehr wurde, wie im Szenario ISWV\_83%, ein weiter ansteigendes Verkehrsaufkommen unterstellt. Jedoch ist zur Erreichung der Klimaziele eine weitere Elektrifizierung (höhere Anteile BEV und höhere elektrische Fahranteile bei PHEV/REEV) im Verkehr notwendig. Dabei reicht das nationale Potenzial der EE-Stromerzeugung von ca. 1.000 TWh in 2050 nicht aus, um diese Ziele zu erreichen. Es sind zusätzliche Importmengen an flüssigen Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien (Power-to-Liquid - PtL) für den Verkehr (insbesondere Flug- und Seeverkehr) notwendig.

**Tab. 1-2 Ausgangsdaten zur Energiewirtschaftlichen Bewertung von E-Pkw/LNF in Deutschland**

	Einheit	2015	2030	2050
Bestand	Tsd.			
Pkw		45.071		
LNF		2.276		
Bestand Prognose Pkw und LNF	Mio.			
		KS80	40,9	39,4
		KS95	36,1	32,2
		ISWV83	45,6	44,4
		ISWV95	44,3	44,3
Jahresfahrleistung Pkw und LNF	Mio. km	618.719		
		42.568		
Jahresfahrleistung Prognose Pkw und LNF	Mrd. km			
		KS80	579	558
		KS95	512	456
		ISWV83	636	601
		ISWV95	601	601

Quellen: (BMUB, 2015), (Fraunhofer IWES/IPB, 2017) und (KBA, 2016a)



## 2 Stand der F&E in Deutschland

In den vergangenen Jahren wurde eine Vielzahl von F&E-Programmen zur Elektromobilität durchgeführt. Dies gilt sowohl für die Fahrzeugtechnologie sowie die Vorbereitung und Schaffung von nationalen und internationalen Standards zur Ladung von Fahrzeugbatterien sowie zur Integration von Elektrofahrzeugen in das elektrische Versorgungsnetz.

Insbesondere mit den Vorhaben der Modellregionen und Schaufenster Elektromobilität wurde Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität breit gefördert. Die Begleit- und Wirkungsforschung zum Schaufenster-Programm Elektromobilität (BuW 2017) hat für den energiewirtschaftlich relevanten Teil der Ladeinfrastruktur festgestellt, dass gesteuertes Laden der Fahrzeuge nur nach den Anreizen des übergeordneten Strommarktes zu Netzbelastungen führen könnte. Wenn jedoch auch Informationen des lokalen Verteilnetzes mit berücksichtigt werden, können Elektrofahrzeuge eine günstige Nutzung des Stromnetzes ermöglichen. Hierfür ist eine zielführende systematische Vernetzung der E-Mobilität mit dem Stromnetz und der Energiewirtschaft erforderlich.

Die Funktion der Energierückspeisung in das elektrische Netz (Vehicle-to-Grid - V2G) wurde in verschiedenen FuE-Vorhaben untersucht. Unter den heutigen Bedingungen ist V2G technisch möglich, jedoch wirtschaftlich schwierig umsetzbar, wie in (Arnold et al. 2015) ausgeführt wird. Mit den parallel laufenden Entwicklungen von Mieterstrommodellen und lokalen Gleichstromnetzen könnte sich dies bei geeigneten Rahmenbedingungen jedoch ändern.

Für die Einsatztauglichkeit von E-Pkw auf langen Strecken wird an Hochleistungsladetechnologien gearbeitet, die die Gleichstrom-Schnellladung der Fahrbatterie mit Leistungen bis zu 400 kW zum Ziel haben. Diese hat auch das Einsatzpotenzial für batterieelektrischer Lkw und Busse.

Das bequeme Laden der Fahrbatterie mittels kabellosen induktiven Ladens ist ein weiteres Technologiefeld, in dem geforscht und entwickelt wird. Die kabellose Ladetechnologie soll zukünftig die Arbeit erledigen, das Fahrzeug mit dem Ladepunkt manuell mit einem Ladekabel (konduktiv) zu verbinden. Dies wird beispielsweise bei schlechtem Wetter oder kalter Jahreszeit als komfortabel wahrgenommen. In dem öffentlich geförderten Forschungsvorhaben STILLE<sup>9</sup> arbeiten 13 internationale Unternehmen Empfehlungen für eine interoperable induktive Ladetechnik aus. Die Empfehlungen sollen in die nationale und internationale technische Standardisierungsarbeit einfließen.

<sup>9</sup>

Vgl. elektronische Seiten:

[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/elektromobilitaet-positionierung-der-wertschoepfungskette.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/elektromobilitaet-positionierung-der-wertschoepfungskette.pdf?__blob=publicationFile&v=5)

[https://www.zu.de/lehrstuehle/cfm/assets/pdf/20160930\\_STILLE\\_PM\\_STILLE-erfolgreich-gestartet.pdf](https://www.zu.de/lehrstuehle/cfm/assets/pdf/20160930_STILLE_PM_STILLE-erfolgreich-gestartet.pdf)

### 3 Bewertung der Relevanz öffentlicher Forschungsförderung

#### 3.1 Kriterium 1: Vorlaufzeiten

Die Elektromobilität mit Pkw/LNF befindet sich weltweit im Hochlauf zum künftigen Massenmarkt. Aus energiewirtschaftlicher Sicht ist es wichtig, dass geeignete Lade- und Kommunikationstechnologien zur Verfügung stehen, die den konkreten Mobilitätsbedarf des Nutzers mit einem E-Pkw/LNF zufrieden stellen können. Hierzu zählen günstige Ladepunkte für langsames Laden (z. B. wohnortnah) und Schnellladepunkte zur Sicherstellung von größeren Reichweiten. Für die geplante Nutzung von öffentlicher Ladeinfrastruktur ist es wichtig, dass freie Ladepunkte einfach gefunden, bedarfsgerecht reserviert und die bezogenen Ladedienstleistungen transparent und rechtssicher abgerechnet werden können. Ebenso ist komfortables kabelloses Laden von Bedeutung, sowohl privat als auch öffentlich, insbesondere in Innenstädten und in Verbindung mit automatischem Fahren.

In den obigen Arbeitsfeldern hat die bisherige Förderung von Forschung und Entwicklung seit 2008 wesentliche Beiträge zur Technologieentwicklung und –einführung erbracht, wie in (BuW 2017) gezeigt ist.

Große deutsche Automobilhersteller arbeiten derzeit verstärkt an der Einführung neuer elektrisch betriebener Pkw- und LNF-Modelle. Damit geht einher, dass in den nächsten Jahren deutlich erweiterte Produktionskapazitäten für E-Antriebe entstehen werden. Die Verbreiterung der Modellpalette in Kombination mit deutlich sinkenden Herstellungskosten durch Technologieentwicklung und Massenproduktion wird bereits in den nächsten 5 Jahren zu deutlich höheren Neuzulassungszahlen von E-Pkw/LNF führen, deren Stromversorgung durch das elektrische Energiesystem zu erbringen sein wird.

In dieser Zeit ist es notwendig, den Vorlauf für die sichere und günstige Systemintegration der E-Pkw/LNF in das Stromnetz und die Energiewirtschaft auch durch öffentliche Forschungsförderung zu schaffen. Dabei sind Entwicklungsthemen wie beispielsweise Hochleistungsladestationen und kabellose Ladetechnik, energieeffiziente lokale DC-Versorgungsnetze mit E-Pkw als Speicher, Mieterstrommodelle, energetische Quartierskonzepte bis hin zu den Flexibilitätsanforderungen durch die öffentlichen Netzbetreiber mit einzubeziehen. Aus energiewirtschaftlicher Sicht hängt zunächst der notwendige Aufwand für den Ausbau der öffentlichen Stromnetze wesentlich davon ab, in welchem Maß das gesteuerte Laden bei der E-Mobilität umgesetzt werden kann. Weiterhin bietet gesteuertes Laden im übergreifenden Strommarkt die Möglichkeit, die fluktuierende EE-Einspeisung zu integrieren.

#### 3.2 Kriterium 2: Forschungs- und Entwicklungsrisiken (technisch, wirtschaftlich, rohstoffseitig)

##### Teilkriterium 2.1 Entwicklungsstadium

Aus energietechnischer Sicht sind die für den Energiefluss zwischen Fahrzeug und Stromnetz notwendigen Schnittstellen, Geräte und deren Systemintegration zu betrachten.

Heute ist es üblich, dass die verschiedenen Ladetechnologien aus einem vorgelagerten Dreh- oder Wechselstromnetz versorgt werden. Bei der kabelgebundenen Ladetechnologie sind typische Leistungen von 3,7 - 44 kW beim Wechselstromladen<sup>10</sup> und derzeit 50 kW beim Gleichstromladen im Stadium der Kommerzialisierung angekommen. Darüber hinaus sollen Gleichstromladesysteme mit deutlich höherer Ladeleistung bis zu 400 kW (NPE 2017) entwickelt und demonstriert werden.

Die drahtlose Ladetechnologie verspricht ein komfortables Laden der Fahrbatterie. Drahtlose induktive Ladetechnologie wurde in verschiedenen Forschungsprojekten entwickelt und demonstriert. Heute werden noch verschiedene Frequenzbänder für die Energieübertragung genutzt. Die Abstimmung eines weltweit harmonisierten Frequenzbandes ist seitens der zuständigen Gremien in Vorbereitung. In dem vom BMWi geförderten Forschungsprojekt „Standardisierung induktiver Ladesysteme über Leistungsklassen (Stille)“ werden Systeme bis 22 kW evaluiert und Empfehlungen für die nationale und internationale Normierung der Technologie erarbeitet.

Die Versorgung der Batterieladegeräte aus einem Gleichstromnetz kann energieeffizient sein, wenn in das versorgende Stromnetz mindestens ein weiterer Gleichstromerzeuger, beispielsweise eine Photovoltaikanlage, einspeist. Durch die entfallende Wandlung des PV-Gleichstromes in Wechselstrom und dessen Gleichrichtung für die Gleichstromladung der Fahrzeugbatterie können Wandlungsverluste vermieden werden. Die Gleichstromtechnologie im Niederspannungsnetz<sup>11</sup> ist Gegenstand der Forschung und Entwicklung, da hierzu in verschiedenen Feldern Erfahrungswerte und technische Richtlinien fehlen.

E-Pkw/LNF können mit ihrem Energiebedarf, der zeitlich flexiblen Lastnachfrage und einer ggf. möglichen Energierückspeisung signifikante Teilnehmer am Stromnetz sein. Die Systemintegration muss dabei sowohl die Anforderungen des vorgelagerten Versorgungsnetzes als auch die Wünsche des Endnutzers bezüglich Mobilität, Eigenstromnutzung und Lastbegrenzung berücksichtigen. Lösungen, die das Ladeverhalten der E-Pkw/LNF hinsichtlich der obigen Wünsche integral optimieren, stehen derzeit nicht zur Verfügung. Aufgrund der unterschiedlichen Entwicklungsstufen der verschiedenen Technologien sind diese getrennt in der Tab. 3-1 und der Tab. 3-2 bewertet.

<sup>10</sup> Beim Wechselstromladen ist das Batterieladegerät im Fahrzeug verbaut, wogegen beim Gleichstromladen das Ladegerät sich außerhalb des Fahrzeugs befindet.

<sup>11</sup> Gemäß der anerkannten technischen Regel VDE 0100 umfasst der Niederspannungsbereich Gleichspannungen größer 120 V bis 1500 V.

**Tab. 3-1     Aktuelles Entwicklungsstadium des Technologiefeldes Elektromobilität für Pkw/LNF – induktives AC- und DC-Laden ohne intelligentes Last- und Energiemanagement, individueller Zugang zu öffentlichen Ladepunkten verschiedener Betreiber**

Grobklassifizierung	Feinklassifizierung	TF
Grundlagenforschung		<input type="checkbox"/>
	TRL 1 – Grundlegende Prinzipien beobachtet und beschrieben, potentielle Anwendungen denkbar	<input type="checkbox"/>
Technologieentwicklung		<input type="checkbox"/>
	TRL 2 – Beschreibung eines Technologiekonzepts und/oder einer Anwendung	<input type="checkbox"/>
	TRL 3 – Grundsätzlicher Funktionsnachweis einzelner Elemente einer Anwendung/Technologie	<input type="checkbox"/>
	TRL 4 – Grundsätzlicher Funktionsnachweis Technologie/Anwendung im Labor	<input type="checkbox"/>
Demonstration		<input type="checkbox"/>
	TRL 5 – Funktionsnachweis in anwendungsrelevanter Umgebung	<input type="checkbox"/>
	TRL 6 – Verifikation mittels Demonstrator in anwendungsrelevanter Umgebung	<input type="checkbox"/>
	TRL 7 – Prototypentest in Betriebsumgebung	<input type="checkbox"/>
	TRL 8 – Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit in Betriebsumgebung	<input type="checkbox"/>
Kommerzialisierung		<input checked="" type="checkbox"/>
	TRL 9 – Erfolgreicher kommerzieller Systemeinsatz	<input checked="" type="checkbox"/>
TF = Technologiefeld, TRL = Technology Readiness Level		

**Tab. 3-2     Aktuelles Entwicklungsstadium des Technologiefeldes Elektromobilität für Pkw/LNF – interoperables induktives Laden, konduktive DC-Schnellladung > 150 kW , intelligentes Last- und Energiemanagement inklusive Energierückspeisung, Einbindung in effiziente DC-Netze**

Grobklassifizierung	Feinklassifizierung	TF
Grundlagenforschung		<input type="checkbox"/>
	TRL 1 – Grundlegende Prinzipien beobachtet und beschrieben, potentielle Anwendungen denkbar	<input type="checkbox"/>
Technologieentwicklung		<input type="checkbox"/>
	TRL 2 – Beschreibung eines Technologiekonzepts und/oder einer Anwendung	<input type="checkbox"/>
	TRL 3 – Grundsätzlicher Funktionsnachweis einzelner Elemente einer Anwendung/Technologie	<input type="checkbox"/>
	TRL 4 – Grundsätzlicher Funktionsnachweis Technologie/Anwendung im Labor	<input type="checkbox"/>
Demonstration		<input checked="" type="checkbox"/>
	TRL 5 – Funktionsnachweis in anwendungsrelevanter Umgebung	<input checked="" type="checkbox"/>
	TRL 6 – Verifikation mittels Demonstrator in anwendungsrelevanter Umgebung	<input type="checkbox"/>
	TRL 7 – Prototypentest in Betriebsumgebung	<input type="checkbox"/>
	TRL 8 – Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit in Betriebsumgebung	<input type="checkbox"/>
Kommerzialisierung		<input type="checkbox"/>
	TRL 9 – Erfolgreicher kommerzieller Systemeinsatz	<input type="checkbox"/>

TF = Technologiefeld, TRL = Technology Readiness Level

## Teilkriterium 2.2 Technisches und wirtschaftliches F&E-Risiko

Derzeit zeichnet sich ab, dass Pkw langfristig rein batterieelektrisch betrieben werden. Die benötigten Reichweiten können zukünftig mit größeren Batteriekapazitäten in Verbindung mit deren Schnellladung erreicht werden. Kurz- und mittelfristig könnte der Anteil der Plug-in-Hybrid Fahrzeuge stärker wachsen als die rein batterieelektrisch betriebenen Pkw. In diesem Zeitraum besteht das Risiko, dass die Anzahl an Ladepunkten und deren Nennleistung ungünstig gewählt werden.

Aus energiewirtschaftlicher Perspektive kann ein E-Pkw sowohl ein zeitlich flexibler als auch zeitlich inflexibler Stromverbraucher sein. Dies wird konkret durch die zu bewältigende Strecke, die verfügbare Batteriekapazität, die Ladeleistung und den möglichen Ladezeitraum sowie die Verfügbarkeit nutzbarer Ladepunkte bestimmt. Aus energiewirtschaftlicher Sicht besteht das Risiko, dass ein E-Pkw selten mit dem elektrischen Netz verbunden wird, und damit sein Flexibilitätspotenzial verliert. Eine Entwicklung hin zu sehr kurzen Ladezeiten mit extrem hohen Ladeleistungen bein-

haltet dieses Risiko und könnte zudem zu hohen Lastspitzen und-schwankungen führen. Um solche Spitzen zu vermeiden ist ein gesteuerter Ladeprozess notwendig, der in der internationalen Normenreihe ISO 15118 für das System „Fahrzeug – Ladepunkt“ grundsätzlich definiert. Hingegen sind für die Kommunikation zwischen der Ladestation und dem Backend eine Vielzahl von Protokollen gebräuchlich. Hier besteht das Risiko, dass Entwicklungen nicht einem künftigen Standard genügen.

Für das öffentliche Ladenetz hat die EU mit der Richtlinie (EU 2014a) einheitliche Vorgaben für das kabelgebundene Laden von Fahrzeugbatterien u. a. durch Mindestvorgaben zum Ladestecker und der Kupplung gemacht. Die EU-Richtlinie wurde durch die Ladesäulenverordnung<sup>12</sup> in nationales Recht umgesetzt. Darin ist auch der Mindestzugang zu einem öffentlichen Ladepunkt geregelt. Nicht festgelegt ist beispielsweise eine Obergrenze für schnelles Laden. Entwicklungen von Hochleistungs-DC-Ladestationen sind somit mit einem Risiko verbunden, welches sowohl wirtschaftlich als auch technisch besteht, da diese Technik erst gemeinsam mit den Fahrzeugherstellern entwickelt und danach vom Markt für den Praxiseinsatz nachgefragt werden muss.

Ebenfalls besteht ein Risiko bei der Entwicklung von kabellosen Ladeeinrichtungen. Hier sind die dafür notwendigen technischen Rahmenbedingungen noch nicht normativ festgestellt. Es ist damit nicht sichergestellt, dass Entwicklungen in dieser Technologie interoperabel arbeiten. Kabelloses Laden ist komfortabel und könnte damit die Akzeptanz für eine häufige Netzkopplung erhöhen.

Bezüglich der Energierückspeisung in das elektrische Netz werden derzeit zwei Technologien verfolgt. Zum einen wird an einer Technologie gearbeitet, das im Fahrzeug verbaute Batterieladegerät so zu ertüchtigen, um Strom aus der Batterie in das Wechselstromnetz einspeisen zu können. Die zweite Technologie nutzt einen stationär aufgebauten Gleichstromlader der mit der Gleichstromladedose des Fahrzeuges verbunden wird.

Aus Gründen der Energieeffizienz wird der Aufbau von Niederspannungs-Gleichstrom auch in Gebäuden in Betracht gezogen. Eine potentielle Anwendung für ein solches Gleichspannungsnetz wäre das Elektrofahrzeug, beispielsweise in Kombination mit einer Photovoltaikanlage und ggf. einem stationären Batteriespeicher. Bei einer solchen Technologiekombination besteht ein technisches und wirtschaftliches Forschungs- und Entwicklungsrisiko.

Zusammengefasst hat die Technologie der E-Pkw aus energiewirtschaftlicher Sicht damit eher wirtschaftliche als technische Risiken (vgl. Tab. 3-3).

---

<sup>12</sup>

Vgl. „Ladesäulenverordnung vom 9. März 2016 (BGBl. I S.457), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 1. Juni 2017 (BGBl. I S. 1520 geändert worden ist“, Quelle: <http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/BJNR045700016.html>, abgerufen 24.07.2017

**Tab. 3-3 Bewertung technischer und wirtschaftlicher Forschungs- und Entwicklungsrisiken in Zusammenhang mit Technologiefeld Elektromobilität für Pkw/LNF**

	sehr gering	gering	eher gering	eher hoch	hoch	sehr hoch
Das <i>technische</i> Forschungs- und Entwicklungsrisiko ist ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das <i>wirtschaftliche</i> Forschungs- und Entwicklungsrisiko ist ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4 Detaillierte Bewertung des Technologiefeldes

### 4.1 Kriterium 3: Marktpotenziale

#### Teilkriterium 3.1 Globales Marktpotenzial

Für die Elektromobilität mit Pkw/LNF in Deutschland ist zunächst der europäische Markt von Bedeutung. Die EU hat mit der Richtlinie (EU 2014a) den Aufbau eines einheitlichen Versorgungsnetzes für alternative Kraftstoffe inklusive Elektrizität in Gang gesetzt. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass der Transitverkehr durch Deutschland auch mit E-Pkw/LNF zukünftig möglich sein wird.

Der Pkw ist in der EU das zentrale Transportmittel für Personenmobilität. Im Mittel der 28 EU-Staaten (EU28) wurden im Jahr 2014 mit Pkw 83,4 % aller Personenkilometer (Pkm) zurückgelegt.<sup>13</sup> Dabei lag Deutschland mit 920,8 Mrd. Pkm an erster Stelle, gefolgt von Frankreich (815,7 Mrd. Pkm), Großbritannien (654,2 Mrd. Pkm) und Italien (642,9 Pkm).<sup>14</sup> Bei diesen Ländern ist der mit Pkw zurückgelegte Anteil >80 %. Diese Staaten können vom Stromverkauf profitieren, haben aber in Europa nicht die beste Ausgangsposition.<sup>15</sup> Andere europäische Staaten wie die Niederlande (145 Mrd. Pkm | 2014) und Norwegen (63,5 Mrd. Pkm | 2014) haben noch bessere Bedingungen, da beide ab 2025 ein Zulassungsverbot für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor umsetzen wollen. In beiden Ländern wurden 2014 zudem über 87 % der Personenkilometer mit dem Pkw zurückgelegt.

Der Anteil an Fahrzeugkilometern, der von ausländischen Pkw auf deutschen Autobahnen und Schnellstraßen zurückgelegt wurde, betrug 2008 nur gut 6,6 %.<sup>16</sup> Damit dürfte der Stromverkauf in Deutschland vom deutschen Bestand an E-Pkw dominiert sein.

Weltweit besteht das größte Marktpotenzial für E-Pkw in China. In 2016 wurden dort knapp 2/3 aller neuen Pkw zugelassen. China plant eine gesetzliche Quote für die Zulassung von E-Pkw.<sup>17</sup> Damit hat China die USA als Weltmarktführer verdrängt.

#### Teilkriterium 3.2 Nationales Marktpotenzial

Das Marktpotenzial von E-Pkw/LNF als zusätzliche Stromverbraucher wird bestimmt durch die zu erbringende Verkehrsleistung, die Anzahl der Fahrzeuge und die Durchdringung der E-Pkw/LNF. Die zu Beginn dieses Kapitels eingeführten Szenarien (vgl. Tab. 1-2) können gemeinsam mit den Annahmen zur Durchdringung der E-

---

<sup>13</sup> Vgl. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger\\_transport\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_transport_statistics), zuletzt geprüft am 28.08.2017.

<sup>14</sup> Vgl. <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/pocketbook2016.pdf>, Seite 52, zuletzt geprüft am 28.08.2017.

<sup>15</sup> Es wird hierbei unterstellt, dass die Durchdringung des Pkw-Bestandes mit BEV und PHEV/REEV gleich verläuft.

<sup>16</sup> Vgl. (Randelhoff 2014)

<sup>17</sup> Weltweit wurden im Jahr 2015 über 72 Mio. Pkw erstmals zugelassen. Dabei entfiel gut ein Drittel auf China. China verfolgt den Plan eine Neuzulassungsquote für E-Pkw von 8 % ab 2018 gesetzlich vorzuschreiben.



Pkw/LNF gemäß Tab. 3-3 verwendet werden, um das nationale Marktpotenzial zu berechnen.

**Tab. 4-1 Ausgangsdaten zur energiewirtschaftlichen Bewertung von E-Pkw/LNF in Deutschland**

	Einheit	2015	2030	2050
Bestand	Tsd.			
PkW		45.071		
LNF		2.276		
Bestand Prognose E-Pkw	Mio.			
		KS80	6,4	39,4
		KS95	7,3	30,8
		ISWV83	7,1	38,5
		ISWV95	7,3	39,6
Durchdringung Prognose Bestand BEV	%			
		KS80	4	51
		KS95	6	65
		ISWV83	6	35
		ISWV95	12	66
Durchdringung Prognose Bestand PHEV und REEV	%			
		KS80	11	26
		KS95	16	30
		ISWV83	9	52
		ISWV95	14	28

Quellen: (BMUB 2015), (Fraunhofer IWES/IBP 2017); (KBA 2016a)

Bis zum Jahr 2030 nehmen im ambitionierten Szenario KS\_95% sowohl die Verkehrsleistung und der Bestand an Pkw/LNF deutlich ab. Beträgt die Fahrleistung 2015 insgesamt 661,3 Mrd. km<sup>18</sup>, so sinkt diese auf 512 Mrd. km. Während 2015 der Bestand 47,347 Mio. Pkw/LNF<sup>19</sup> betrug, so nimmt dieser auf 36,1 Mio. ab, wovon 6 % rein batterieelektrisch fahren und 14 % mit Hybridantrieb oder Range Extender ausgestattet sind. Zur energetischen Versorgung werden 20,4 TWh benötigt.

Beim weniger ambitionierten Szenario KS\_80% sinkt die Jahresfahrleistung weniger stark auf 579 Mrd. km und der Bestand an Fahrzeugen fällt auf 40,9 Mio. Pkw/LNF bis zum Jahr 2030. Darunter sind 4 % BEV und 11 % PHEV und REEV. Der elektrische Energiebedarf beträgt dafür 17,3 TWh.

Im Vergleich zu den KS-Szenarien gehen die ISWV-Szenarien des Projektes „Strom – Wärme – Verkehr“ von einem geringeren Rückgang der Jahresfahrleistung und des Fahrzeugbestandes aus. In dem ambitionierten Szenario ISWV\_95% geht die Jahresfahrleistung auf 601 Mrd. km und der Bestand auf 44,3 Mio. Pkw bis zum Jahr 2030 zurück. Bei den Pkw beträgt der batterieelektrische Anteil 12 % und 14 % bei den

<sup>18</sup> Der Fahranteil der Pkw dominiert mit 93,56 % deutlich gegenüber dem Anteil der leichten Nutzfahrzeuge.

<sup>19</sup> Der Pkw-Anteil am Gesamtbestand (Pkw / LNF) betrug 95,19 %.

PHEV und REEV. Für die elektrische Versorgung werden 31,9 TWh erforderlich. 15,8 TWh hingegen sind im weniger ambitionierten Szenario ISWV\_83% erforderlich. Hier sinkt die Jahresfahrleistung auf 636 Mrd. km bei einem Bestand von 45,6 Mio. Pkw/LNF mit einem Anteil von 6 % BEV und 9 % PHEV und REEV. Den Berechnungen für PHEV und REEV liegen den Szenarien für das Jahr 2030 elektrische Fahranteile von 70 % (ISWV\_83%) und 85 % (ISWV\_95%) zu Grunde.

Die Prognosen für das Jahr 2050 zeigen folgende Bilder: Im ambitionierten Szenario KS\_95% fallen sowohl die Verkehrsleistung und der Bestand an Pkw/LNF nochmals deutlich ab. Beträgt die Jahresfahrleistung 2030 insgesamt 512 Mrd. km, so sinkt diese nochmals auf 456 Mrd. km und der Bestand nimmt von 36,1 Mio. auf 32,2 Mio. Pkw ab. Darunter sind 6 % rein batterieelektrisch und 16 % mit Plug-in-Hybridantrieb oder Range Extender ausgestattet. Der Jahresenergiebedarf dafür steigt von 20,4 TWh (2030) auf 82,2 TWh.

Beim weniger ambitionierten Szenario KS\_80% sinkt die Jahresfahrleistung gegenüber der Prognose für 2030 nochmals weniger stark auf 558 Mrd. km und der Bestand an Fahrzeugen fällt nur gering auf 39,4 Mio. Pkw/LNF. Darunter sind 51 % batterieelektrisch Pkw und 26 % PHEV und REEV. Der elektrische Jahresenergiebedarf steigt von 17,3 TWh auf 77,9 TWh.

In den ISWV-Szenarien steigen die Prognosen für den Strombedarf zwischen den Jahren 2030 bis zum Jahr 2050 deutlicher an als in den KS-Szenarien. Bei relativ gleich bleibenden Fahrleistungen und Anzahl Pkw werden für die elektrische Versorgung in 2050 im 95%-Szenario 104,4 TWh notwendig. 70,8 TWh hingegen sind im weniger ambitionierten Szenario ISWV\_83% erforderlich. Die angenommenen elektrischen Fahranteile bei PHEV/ REEV betragen 85 % (ISWV\_83%) und 92 % (ISWV\_95%). Die in den Szenarien prognostizierten Energiebedarfe sind in folgender Tab. 4-1 zusammengefasst.

**Tab. 4-2 Analyse des nationalen Marktpotenzials für das Technologiefeld Elektromobilität von E-Pkw/LNF in Deutschland**

Jahr	Szenarienbereich KS_80%	Szenarienbereich KS_95%	Szenarienbereich ISWV_83%	Szenarienbereich ISWV_95%
Einheit	TWh	TWh	TWh	TWh
2030	17,3	20,4	15,8	31,9
2050	77,9	82,2	70,8	104,4

Die Szenarien unterscheiden sich insbesondere im Stromverbrauch mittel- und langfristig. Gründe hierfür sind langfristig der angenommene Pkw-Bestand und die Fahrleistungen, die Entwicklung hin zu größeren Batterien bei BEV und ein günstiger Ausbau der erforderlichen Ladeinfrastruktur welches höhere elektrische Fahranteile ermöglicht.

## 4.2 Kriterium 4: Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionsminderungszielen

### Teilkriterium 4.1 Vermiedene Treibhausgas-Emissionen

Mit Hilfe von E-Pkw/LNF können in Deutschland Treibhausgasemissionen vermieden werden. Bezogen auf den Ausgangswert des Jahres 2015 von 112 Mio. t Emissionen aus Pkw (ohne LNF) führt die Durchdringung mit E-Pkw zu starken Einsparungen (siehe Tab. 4-3). Dabei ist ein Strommix von 192 t CO<sub>2</sub>/MWh in 2030 und 100 % EE-Strom in 2050 unterstellt. Da in den Szenarien 2050 noch ein Restbestand an Verbrennerfahrzeugen unterstellt ist, verbleiben teilweise noch Emissionen.

**Tab. 4-3 Jährlich vermiedene Treibhausgas-Emissionen durch Technologiefeld Elektromobilität für Pkw/LNF in Deutschland im Vergleich zum Referenzfall (jeweils in Spannbreiten)**

Mio. t CO <sub>2</sub> -äq./a	Szenarienbereich KS_80%	Szenarienbereich KS_95%	Szenarienbereich ISWV_83%	Szenarienbereich ISWV_95%
2030 inkl. Strommix	59,3	67,6	30,1	57,4
2050 inkl. 100 % EE	102,4	111,6	90,3	107,6

Aktuell sind mit dem Klimaschutzplan sektorale Ziele und damit auch feste Vorgaben zur Emissionsreduktion des Verkehrssektors bis 2030 vorgegeben (95 – 98 Mio. t. CO<sub>2</sub> Gesamtverkehr ohne internationalen Verkehr). Dies ist in den Szenarien noch nicht berücksichtigt und damit auch nicht gewährleistet, ob eine Anzahl von 7,3 Mio. E-Pkw/LNF in den beiden 95 %-Szenarien im Jahr 2030 ausreichen würde, um die Ziele einzuhalten. Neben dem Bereich Pkw stellen sich hier Anforderungen im Bereich Verkehrsverlagerung und Vermeidung, der Dekarbonisierung des Schwerlastverkehrs und dem Einsatz von Biokraftstoffen oder ggf. der Herstellung von PtL-Kraftstoffen.

### Teilkriterium 4.2 Vermiedene oder gestiegene andere Emissionen

Weitere Emissionen wurden zu den energiewirtschaftlichen Auswirkungen von E-Pkw/LNF nicht betrachtet.

## 4.3 Kriterium 7: Inländische Wertschöpfung

Aufgrund der hohen zusätzlichen Nachfrage nach Strom kann inländische Wertschöpfung im Bereich der Erneuerbaren Energien und im Stromsektor allgemein entstehen. In Deutschland wird der Ausbau des öffentlichen Ladenetzes mit öffentlichen Mitteln gefördert. Hier und durch den notwendigen Aufbau und den Betrieb von privater Ladeinfrastruktur (derzeit nicht gefördert) entsteht (lokale) Wertschöpfung. In (NPE 2016) werden die Arbeitsplatzeffekte einer umfassenden Förderung der Elektromobilität in Deutschland untersucht. Die Studie prognostiziert unter den angenommen Bedingungen bis zum Jahr 2020 zusätzlich 30.000 Arbeitsplätze, wovon 1/6 im Bereich der Infrastruktur entstehen würden.

Für den Bereich von E-Pkw und LNF sei auf die Studie (Falck, 2017) verwiesen. Diese geht jedoch in Ihrem Szenario Business As Usual (BAU) von einer deutlich geringeren Hochlaufgeschwindigkeit für E-Pkw/LNF aus. Grundsätzlich wird ein starker Rückgang der Wertschöpfung in der Herstellung von E-Pkw/LNF im Vergleich zu aktuellen Verbrennungsmotor-Fahrzeugen diskutiert. Andererseits ist für deutsche Hersteller mit ca. 70 % der Exportmarkt bestimmend, welcher sich durch die Einführung von E-Fahrzeug-Quoten oder Zulassungsverboten im starken Wandel befinden. Ein verzögertes Reagieren der Automobilbranche auf die Entwicklung der Elektromobilität kann hier wesentliche Marktanteile kosten und die Entwicklung neuer Wertschöpfungspotenziale, beispielsweise im Bereich von Mobilitäts- und Energiedienstleistungen oder der Batterie(zell)fertigung hemmen.

#### 4.4 Kriterium 8: Stand und Trends von Forschung und Entwicklung im internationalen Vergleich

##### Teilkriterium 8.1 Internationale Aufstellung der deutschen Industrie

Für den energiewirtschaftlich relevanten Teil der Ladetechnologie ist die deutsche Industrie wettbewerbsfähig. An den zukünftigen Ladetechnologien für schnelles DC-Laden mit Leistungen von bis zu 400 kW und dem kabellosen Laden wird in einzelnen Projekten gearbeitet. Die für eine gute Aufstellung wichtige technische Normung wird durch themenbezogene Normungsroadmaps gebündelt und die Normung national und international aktiv betrieben (siehe Tab.-4-4).

Für die systemtechnische Integration der Elektromobilität in das Versorgungsnetz und die Energiewirtschaft bedarf es zusätzlicher Anstrengungen, damit auch ein schneller Anstieg des Bestandes an E-Pkw/LNF zu keinem Engpass oder zu erhöhtem Netzausbau führt.

Bezogen auf den Fahrzeugbereich sei wiederum auf die Studie (Falck 2017) verwiesen. Hiernach ist die Wettbewerbslage der deutschen Automobilindustrie auf der Grundlage von Patenten und Schutzrechten bei allen Fahrzeugtypen führend oder wettbewerbsfähig. Dies gilt jedoch nicht für den Bereich der Batterien und Akkumulatoren, welcher für ein batterieelektrisches Fahrzeug von zentraler Bedeutung ist.

**Tab.-4-4 Internationale Aufstellung der deutschen Industrie hinsichtlich des Technologiefeldes Elektromobilität für Pkw/LNF**

**Welchen Status hat die deutsche Industrie hinsichtlich Know-how innerhalb dieses Technologiefeldes weltweit?**

Technologiefeld ☐ Technologieführerschaft ☒ wettbewerbsfähig  
☐ nur in Einzelanwendungen konkurrenzfähig ☐ abgeschlagen

#### 4.5 Kriterium 9: Gesellschaftliche Akzeptanz

Das Kriterium „Gesellschaftliche Akzeptanz“ gliedert sich auf in die drei Akzeptanzbereiche: Marktakzeptanz, politische Akzeptanz und Vor-Ort-Akzeptanz (Tab. 4-5):

- Die *Marktakzeptanz* ist heute unklar: Seit Mai 2016 fördert die Bundesregierung mithilfe eines Umweltbonus die Anschaffung von Elektrofahrzeugen. Trotz dieser

nennenswerten Förderung und der hohen Fahrqualität die elektrische Fahrzeuge bieten sind Absatz und Marktanteil der E-Pkw weiterhin sehr gering.

Nach (BuW 2017, S.122) werden beispielsweise von der gewerblichen Wirtschaft folgende wesentlichen Hemmnisse für die Verbreitung der E-Mobilität im Gewerbe genannt: hohe Anschaffungskosten, begrenzte Modellvielfalt, Zuverlässigkeit der Reichweitenangabe und die mögliche elektrische Reichweite, Restwertunsicherheit, Zeitaufwand für Batterieladung und eine unzureichende öffentliche Ladeinfrastruktur.

Die anhaltende Diskussion um Fahrverbote für nicht saubere Fahrzeuge und die fortlaufenden Veröffentlichungen von Ergebnissen von Abgasmessungen an marktverfügbaren Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zeigen bisher eine wenig sichtbare Auswirkung auf den Absatz von E-Pkw. Der Electric Vehicle Index (EVI) der Unternehmensgruppe McKinsey bestätigt dies in (McKinsey 2016). Der deutsche Markt für Elektrofahrzeuge rangiert international im Mittelfeld auf dem 8. Platz. In der Reihenfolge der Herstellerländer nimmt Deutschland nach China und Japan den dritten Platz ein.

Die Preise für E-Pkw sind hoch verglichen mit Verbrenner-Fahrzeugen gleichen Typs. Auch bei einem ähnlichen relativen Wertverlust führt dies absolut gesehen zu höheren Verlusten.

Derzeit sind Elektrofahrzeuge ein Nischenmarkt. Auf den beiden großen Internetplattformen für Fahrzeuge<sup>20</sup> liegt das Angebot von BEV und PHEV/REEV deutlich unter einem Prozent.

- Die *politische Akzeptanz* ist gegeben: Das im Juni 2015 erlassene „Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Elektromobilitätsgesetz – EmoG)“ ermöglicht insbesondere Städten und Gemeinden die Privilegierung von Elektrofahrzeugen in verschiedener Form. Darüber hinaus fördert die Bundesregierung den Aufbau der Elektromobilität bei E-Pkw (BEV, PHEV, REEV, Fuel Cell EV) befristet durch eine Kaufprämie und den Verzicht auf die Kraftfahrzeugsteuer (nur bei BEV). Auch bei der Einkommenssteuer werden zeitbefristete Vorteile für das elektrische Aufladen von privaten E-Pkw beim Arbeitgeber und das Überlassen von Ladeeinrichtungen eingeräumt. Zur Unterstützung des Aufbaus von öffentlicher Ladeinfrastruktur hat die Bundesregierung ein 300-Mio.-€-Förderprogramm im März 2017 gestartet. Im europäischen Ausland ist die politische Akzeptanz ebenfalls gegeben. Beispielsweise haben die Niederlande und Norwegen angekündigt, Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor ab dem Jahr 2025 nicht mehr zulassen zu wollen. Die EU hält sich in ihrer Richtlinie für den Aufbau von Infrastruktur (EU 2014a) neben der Elektrizität auch weitere alternative Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge offen.
- Die *Vor-Ort-Akzeptanz* ist gegeben: E-Pkw werden aufgrund ihrer lokalen Emissionsfreiheit von verschiedenen Städten und Gemeinden bevorzugt. Kommunen räumen E-Pkw Privilegien ein, beispielsweise durch die unbeschränkte Zu-

20

Vgl. Internetportale „mobile.de“ und „autoscout24.de“.

fahrt in bestehende Umweltzonen oder kostenfreies Parken auf bewirtschafteten Fahrzeugstellplätzen. Ein starker Ausbau von Ladeinfrastruktur, welche im Stadtbild deutlich als zusätzliche Möblierung sichtbar wäre, könnte die Akzeptanz zukünftig mindern. Bisher sind Elektrofahrzeuge leise und erzeugen insbesondere bei niedriger Geschwindigkeit kein „hörbares“ Geräusch. Dies wird als potentielles Risiko für andere Verkehrsteilnehmer wahrgenommen. Um dieses zu reduzieren hat die EU in Artikel 8 ihrer Verordnung über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen (EU 2014b) geregelt, dass künftig reine Elektrofahrzeuge und hybridelektische Fahrzeuge ab dem 1. Juli 2021 mit einem akustischen Fahrzeugwarnsystem ausgestattet sein müssen. Mit dieser Maßnahme ist ein Akzeptanzgewinn insbesondere bei Verkehrsteilnehmer zu erwarten, die Fahrzeuge maßgeblich akustisch wahrnehmen.

**Tab. 4-5 Bewertungsraster für die Akzeptanz von Technologiefeld Elektromobilität für Pkw/LNF zum Status Quo (2017)**

Technologien	Ebene Markt		Ebene Gesellschaft		Lokale Ebene	
	Marktakzeptanz		Sozialpol. Akzeptanz		Lokale Akzeptanz	
	Kunden, Haushalte, Nutzer, Industrie: Wie viel investieren Marktakteure?		Sozio-politische Entwicklungen, gesellschaftliche Stimmung / Diskurse; Image		Lokale Konflikte, Klagen, Aktivitäten von Bürgerenergie	
	Bewertung	Begründung/Quelle (Studien)	Bewertung	Begründung/Quelle (Studien)	Bewertung	Begründung/Quelle (Studien)
	3 (teils-teils)	Fahrzeugindustrie baut Produktionsanlagen und Kernkompetenz auf; viele neue E-Modelle für die nächsten Jahre angekündigt.  Fahrzeugnutzer überwiegend auf Verhältnis Preis/Leistung und Verbrauchskosten fixiert.	2 (gegeben)	Großes Interesse an strassenbezogener Elektromobilität auf allen Ebenen.  Einerseits Lösung für lokale Umweltprobleme, andererseits Sorge um Arbeitsplätze mit Verbrennungstechnologie dominierter Kernkompetenz	3 (teils-teils)	Eventuell Akzeptanzprobleme zu erwarten bei: kabellosem Laden aufgrund der elektromagnetischer Strahlung, störender Möblierung durch Ladesäulen, Verteilung von Mehrkosten für Anschluss und Betrieb von Ladepunkte in Liegenschaften

Bewertung mittels 5-stufiger Skala: Hohe Akzeptanz (1), eher hohe Akzeptanz (2), mittlere Akzeptanz (3), eher niedrige Akzeptanz (4), niedrige Akzeptanz (5)

#### 4.6 Kriterium 10: Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit

Für die langfristige Entwicklung von E-Pkw/LNF ist insbesondere die Entwicklung neuer Batterietechnologien mit höherer Energiedichte von großer Bedeutung. Hier-

bei kommt es u. a. darauf an, dass Rohstoffe für die Batteriefertigung langfristig und zu akzeptablen Preisen zur Verfügung stehen und eine günstige und umweltgerechte Fertigung möglich ist.

Der Weg zum Aufbau einer günstigen öffentlichen und privaten Ladeinfrastruktur wird zum einen wesentlich von der oben beschriebenen Entwicklung der Batterietechnologie und dem damit möglichen Nutzerverhalten bei der Batterieladung und den nachgefragten Ladeleistungen bestimmt. Zum anderen werden die für die Dienstleistung „Batterieladung“ zu entwickelnden Abrechnungsmodelle eine Rolle spielen.

Weiterhin ist aus energiewirtschaftlicher Sicht die Steuerung des Ladeverhaltens der E-Pkw (abgestimmt sowohl von Seiten Strommarkt als auch Netzbetreiber) von großer Bedeutung, um diese effizient in das Gesamtsystem zu integrieren. Dadurch können Hemmnisse, die aus einer geringeren Integration fluktuierender EE-Einspeisung oder dem Ausbau des elektrischen Netzes resultieren könnten (z.B. Strombezugskosten, Akzeptanz), vermieden werden.

#### 4.7 Kriterium 11: Abhängigkeit von Infrastrukturen

Die Umstellung des Pkw-Antriebs auf ein rein batterieelektrisches System erfordert ein geeignetes elektrisches Ladenetzwerk. Pkw stehen typischerweise wohnort- oder arbeitsortnah täglich jeweils über einen mehrstündigen Zeitraum. Damit sind dort die Voraussetzungen für ein langsames Batterieladen mit niedriger Leistung bei hoher Gleichzeitigkeit gegeben. Allerdings wurden die elektrischen Installationen hierfür nicht bemessen und müssen bedarfsweise ausgebaut werden. Der Ausbau kann durch klassischen Netzausbau oder durch intelligente Laststeuerung verzögert und reduziert erfolgen. Die intelligente Leistungssteuerung erfordert dabei eine aufeinander abgestimmte Mess- und Steuertechnik.

Weitere Infrastruktur ist erforderlich, um die elektrischen Pkw/LNF zur Überwindung längerer Strecken schnell laden zu können. Heute stellt ein Schnellladepunkt typischerweise bis zu 50 kW bereit. Zukünftig sind jedoch Leistungen bis zu 400 kW in Diskussion. Derartige Ladepunkte werden vorrangig an den verkehrsreichen Transitstrecken benötigt.

Damit der Nutzer eines elektrischen Pkw/LNF die öffentlich verfügbare Ladeinfrastruktur verschiedener Betreiber einfach nutzen kann, ist eine geeignete Roamingstruktur erforderlich, welche die Authentisierung, Autorisierung und Verrechnung der erbrachten Ladeleistung technisch unterstützt.

Wie der Mix von Normal- und Schnellladepunkten wirtschaftlich mittel- und langfristig optimal zu gestalten ist, lässt sich schwer prognostizieren, da sowohl die Nutzergewohnheiten als auch die technologische Weiterentwicklungen der Speichertechnik mit einfließen.

Der Aufbau der Ladeinfrastruktur ist ein langsamer Prozess. Dafür sprechen folgende Faktoren:

- Ladeinfrastruktur ist ein langlebiges Wirtschaftsgut. Die Abschreibungen der erforderlichen Erd- und Kabelarbeiten erfolgen über 25 Jahre, die der Ladesäule über

10 bis 15 Jahre in Anlehnung an die AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig Energie- und Wasserversorgung.

- Der Ausbau der für den Betrieb der Ladeinfrastruktur notwendigen Netze wird langfristig geplant. Derzeit gilt der Szenariorahmen für den Zeitraum 2017 - 2030 (Bundesnetzagentur 2016).
- Bestehende Liegenschaften sind in der Regel nicht für die Versorgung von E-Pkw/LNF geplant und die Elektroinstallation der Liegenschaft dafür bemessen. Die Versorgungsstruktur ist somit neu zu errichten und die Herstellungskosten sind mit der für das Gebäude typischen Nutzungsdauer abzuschreiben. Bei der Zustimmung zur Errichtung können sich darüber hinaus Hemmnisse durch die Eigentümerstruktur der Liegenschaft ergeben.

Zusammengefasst kann daher nicht mit einem schnellen und flächendeckenden Aufbau von privater und öffentlicher Ladeinfrastruktur gerechnet werden.

**Tab. 4-6 Abhängigkeit des Technologiefeldes Elektromobilität für Pkw/LNF von Infrastrukturen**

	Ja	Nein
Die Nutzung der Technologie(n) ist <i>unabhängig</i> von Infrastrukturen möglich.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Die Nutzung und Verbreitung der Technologie(n) ist von <i>bestehenden</i> Infrastrukturen abhängig.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zur Verbreitung und Nutzung der Technologie(n) müssen <i>bestehende</i> Infrastrukturen ausgebaut werden.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zur Verbreitung und Nutzung der Technologie(n) müssen <i>neue</i> Infrastrukturen gebaut werden.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.8 Kriterium 12: Systemkompatibilität

Die physikalische Verbindung des E-Pkw mit dem elektrischen Netz erfolgt kabelgebunden oder zukünftig auch kabellos. Mit der europäischen Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (EU, 2014a) und den daraus folgenden nationalen Verordnungen<sup>21</sup> ist in Europa die Kompatibilität für den Zugang zu öffentlicher Ladeinfrastruktur und deren physikalische Nutzbarkeit im Wesentlichen sichergestellt.

Offen ist, wie das Ladenetz günstig gestaltet werden kann. Für die Bewältigung von langen Wegen ist ein verkehrsgünstiges Netz aus Schnellladestationen mit hohen Ladeleistungen erforderlich. Dieses dient vorrangig der Sicherung des Mobilitätsbedürfnisses und nachrangig dem Wunsch der Netzbetreiber nach Lastflexibilität. Zur

<sup>21</sup>

Die Umsetzung in deutsches Recht ist durch die Ladesäulenverordnung vom 9. März 2016 (vgl. BGBl. I S.457) sowie der ersten Verordnung zur Änderung der Ladesäulenverordnung vom 1. Juni 2017 (vgl. BGBl. I S.1520) erfolgt.



Sicherstellung der durchschnittlich bewältigten Tagesstrecken<sup>22</sup> reicht im Allgemeinen eine deutlich geringere Ladeleistung aus. Je länger der tägliche Zeitraum ist, in dem der E-Pkw mit dem Netz verbunden ist, desto besser kann der Wunsch des Netzbetreibers nach Lastflexibilität vorrangig erfüllt werden.<sup>23</sup>

Um die verschiedenen Bedürfnisse optimieren zu können, bedarf es der Abstimmung des Mobilitätsinteresses einerseits und den Anforderungen des Ladenetzes und der Energiewirtschaft andererseits. Die Kommunikationsfähigkeit zwischen E-Pkw und Ladepunkt wird durch die Normenreihe ISO 15118 sichergestellt. Diese bietet die Möglichkeit einen Ladefahrplan zwischen E-Pkw und dem Ladepunkt auszutauschen. Der Ladepunkt wiederum ist Teil eines Ladenetzes oder der elektrischen Infrastruktur einer Liegenschaft. Der mit dem Fahrzeug abzustimmende Ladefahrplan ist von dem Energie- und Lastmanagement zu erstellen, in dessen Verfügungsbereich der Ladepunkt liegt.

Einen wichtigen Beitrag zur Systemkompatibilität leistet die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) mit der Herausgabe der Deutschen Normungsroadmap Elektromobilität 2020 (NPE, 2017).

---

<sup>22</sup> Laut der Studie „Mobilität in Deutschland – 2008“ (S. 82) beträgt die Spannweite der durchschnittlichen Tagesstrecke 24 km (Rentner) bis 65 km (Vollzeitbeschäftigte).

<sup>23</sup> Längere Fahrzeugstehzeiten ergeben sich typischerweise am Wohnort und in der Nähe des Arbeitsortes.

## 5 F&E-Empfehlungen für die öffentliche Hand

Das Konzept des batterieelektrischen Antriebs mit seinem hohen Wirkungsgrad erscheint langfristig der zentrale Weg zur Dekarbonisierung des Pkw/LNF-Verkehrs und damit eines großen Anteils des deutschen Verkehrssektors zu sein. Ziele sind ein hoher Bestand an E-Pkw/LNF mit hohem Anteil an Fahrleistungen am nationalen Verkehr, einem hohen Anteil vollelektrischer Fahrzeuge und bei Plug-in-Hybrid-Pkw einem hohen elektrischen Fahranteil. Damit dieses Potenzial realisiert werden kann, muss die Energie für den Betrieb aus erneuerbaren Energiequellen kommen und eine geeignete Ladeinfrastruktur zur Verfügung stehen. Zu reflektieren ist dabei auch die Rolle des kleineren deutschen Marktes für den Exportmarkt deutscher Hersteller.

Für die Weiterentwicklung werden aus energiewirtschaftlicher Sicht folgende Forschungs- und Entwicklungsfelder gesehen, die kurz- bis mittelfristig zu bearbeiten sind:

- 1 | Der E-Pkw kann grundsätzlich eine flexible Last oder ein Einspeiser am elektrischen Netz sein. Dazu ist es erforderlich, dass das Fahrzeug während längerer Standzeiten mit dem elektrischen Netz verbunden ist und an einer gesteuerten Ladung teilnimmt. Wie dies erreicht werden kann, in welchem Maß systemrelevante Netzdienstleistungen zu erbringen sind und wie eine energiewirtschaftliche optimale Ladestruktur inklusive der IKT- und Geschäftsprozesse zu gestalten ist, sollte in weiteren F&E-Vorhaben untersucht werden.
- 2 | Das Laden nahe des Wohn- oder Arbeitsortes ist für die Systemeinbindung wichtig. Fehlt es an der Bereitschaft relevanter Stakeholder, z. B. Liegenschaftsbesitzer oder Arbeitgeber, den Aufbau von Ladepunkten zu unterstützen, wird dies für den systemintegrierten Hochlauf von E-Pkw ein Hemmnis. Hier ist es daher wichtig, die relevanten Stakeholder frühzeitig in den Prozess einzubinden, um damit die erforderliche Unterstützung zu sichern. Parallel dazu ist der geltende Rechtsrahmen so zu vereinfachen, dass die Umsetzung der Elektromobilität unterstützt und nicht gehemmt wird.
- 3 | Unter den Ladetechnologien ist die Gleichstrom-Schnellladung der Fahrbatterie mit Leistungen bis zu 400 kW eine technische Herausforderung, die das Potenzial besitzt, auch das Einsatzpotenzial batterieelektrischer Lkw und Busse zu erweitern. Die Fortschritte beim automatisierten Fahren eröffnen die technische Möglichkeit der künftig optimierten Schnellladung von Elektrofahrzeugen ohne Fahrer.
- 4 | Die kabellose induktive Ladetechnologie verspricht einen hohen Nutzerkomfort, der erst mit einer interoperablen Technik umfänglich zum Tragen kommt. Aufgrund der bei dieser Technik anfallenden hohen elektromagnetischen Strahlung ist zu erwarten, dass die Vor-Ort-Akzeptanz fehlen könnte und geschaffen werden muss. Hier sollten relevante Entwicklungen und Untersuchungen angestoßen werden.
- 5 | Lokale DC-Netze mit DC-Verbrauchern, DC-Erzeugern und DC-Energiespeichern versprechen eine effiziente Energienutzung aufgrund geringerer Wandlungsverluste. Hier ist es wichtig, die Einbindung in ein Last- und Energiemanagement zu untersuchen. Für eine günstige Systemauslegung ist die Wechselwirkung zwi-

schen stationären und mobilen Speichern im DC-Netz zu untersuchen. Geeignete Lösungen sind national und international zu standardisieren.

## Literaturverzeichnis

- Arnold, G.; Brandl, R.; Degner, T.; Gerhardt, N.; Landau, M.; Nestle, D.; Portula, M.; Scheidler, A.; Schwinn, R.; Baumbusch, K.; Dörschlag, A.; Eberhardt, T.; Wacker, V.; Wesemann, A.; Führer, O.; Leifert, T.; Bäuml, G.; Bärwaldt, G.; Haupt, H.; Kammerlocher, M.; Nannen, H. (2015): Intelligente Netzanbindung von Elektrofahrzeugen zur Erbringung von Systemdienstleistungen – INEES. Wolfsburg, Hamburg, Niestetal, Kassel: Volkswagen AG, LichtBlick SE, SMA Technology AG, Fraunhofer IWES
- BMUB (2015): Klimaschutzszenario 2050 – 2. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Autoren: Öko-Institut e.V.: Repenning, J.; Emele, L.; Blanck, R.; Böttcher, H.; Dehoust, G.; Förster, H. et al. Fraunhofer ISI: Braungardt, S.; Eichhammer, W.; Elsland, R.; Fleiter, T.; Schade, W.; Schlomann, B. et al. Berlin, Karlsruhe: Öko-Institut, Fraunhofer ISI
- BMVI (2016): Verkehr in Zahlen 2016/2017. 45. Aufl.. Hamburg: DVV Media Group GmbH
- Bundesnetzagentur (2016): Genehmigung des Szenariorahmens für die Netzentwicklungspläne Strom. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 30.06.2016
- BuW- Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (2017): Schaufenster-Programm Elektromobilität – Abschlussbericht der Begleit- und Wirkungsforschung 2017. Ergebnispapier Nr. 30. Autoren: Bertram Harendt, B. (DDI), Schumann, D. (bIT), Wirth, M. (VDE). Frankfurt am Main: Deutsches Dialog Institut GmbH. Quelle: [http://schaufensterelektromobilitaet.org/media/media/documents/dokumente\\_der\\_begleit\\_\\_und\\_wirkungsforschung/EP30\\_Abschlussbericht\\_2017\\_der\\_Begleit-\\_und\\_Wirkungsforschung.pdf](http://schaufensterelektromobilitaet.org/media/media/documents/dokumente_der_begleit__und_wirkungsforschung/EP30_Abschlussbericht_2017_der_Begleit-_und_Wirkungsforschung.pdf)
- Destatis (2016): Weiter steigende Motorleistung der Pkw verhindert Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. [https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2016/12/PD16\\_451\\_85pdf.pdf;jsessionid=8205D5E0F142C9D9330A2D654C27A91A.ca?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2016/12/PD16_451_85pdf.pdf;jsessionid=8205D5E0F142C9D9330A2D654C27A91A.ca?__blob=publicationFile). Letzter Zugriff: 11.08.2017
- EU – Europäische Union (2009): Verordnung (EG) Nr. 443/2009 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen
- EU – Europäische Union (2011): Verordnung (EU) Nr. 510/2011 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 11. Mai 2011 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue leichte Nutzfahrzeuge im Rahmen des Gesamtkonzepts der Union zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen

- EU – Europäische Union (2014a): Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe
- EU – Europäische Union (2014b): Richtlinie 540 / 2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157/EWG
- Falck, O.; Ebnet, M.; Koenen, J. (2017): Auswirkungen eines Zulassungsverbotes für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Ifo Studie im Auftrag des Verbands der Automobilindustrie e.V. München, Juni 2017
- Fraunhofer IWES/IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Februar 2017
- Gerhardt, N.; Sandau, F.; Scholz, A.; Hahn, H.; Schumacher, P.; Sager, C.; Bergk, F.; Kämper, C.; Knörr, W.; Kräck, J.; Müller, T. et al. (2015): Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr. Endbericht. Fraunhofer IWES; Fraunhofer IBP; IFEU – Institut; Stiftung Umweltenergierecht. Kassel: Fraunhofer IWES
- Gnann, T.; Stephens, T.; Lin, Z.; Plötz, P.; Liu, C.; Brokate, J.: What drives the market for plug-in electric vehicles? European Electric Vehicle Congress, Geneva, Switzerland, 14th-16th March 2017.  
[https://www.researchgate.net/publication/315132715\\_What\\_drives\\_the\\_market\\_for\\_plug-in\\_electric\\_vehicles](https://www.researchgate.net/publication/315132715_What_drives_the_market_for_plug-in_electric_vehicles)
- infas, DLR (2010.): Mobilität in Deutschland 2008 – Ergebnisbericht. Projekt-Nr. FE 70.801/2006, Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn und Berlin: Februar 2010
- KBA (2011): Wir punkten mit Verkehrssicherheit - Statistik - Fachartikel: Fahrzeugalter, Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg. Letzter Zugriff: 15.04.2011
- KBA (2016a): Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2016 gegenüber 1. Januar 2015.  
[https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Ueberblick/2016/2016\\_b\\_ueberblick\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Ueberblick/2016/2016_b_ueberblick_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1), (zuletzt geprüft am 28.08.2017)
- KBA (2016b): Durchschnittliche Fahrleistung auf Durchschnittsniveau. Auswertung des Kraftfahr-Bundesamtes.  
[http://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr\\_in\\_kilometern\\_node.html](http://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr_in_kilometern_node.html). Letzter Zugriff: 07.06.2017
- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2015): Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland - Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015. Berlin: November 2015
- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2016): Arbeitsplatzeffekte einer umfassenden Förderung der Elektromobilität in Deutschland. Berlin: Juni 2016

NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2017): Die Deutsche Normungsroadmap Elektromobilität 2020. Berlin: April 2017

Randelhoff, M (2014): [Pkw-Maut in Deutschland] Vignette für Ausländer – wie viele ausländische Pkw nutzen das deutsche Automobilnetz? <https://www.zukunft-mobilitaet.net/61128/analyse/pkw-maut-vignette-fuer-auslaender-wie-viele-auslaendische-pkw-nutzen-das-deutsche-autobahnnetz/>. Letzter Zugriff: 28.08.2017

UBA (2017): Endenergieverbrauch und Energieeffizienz des Verkehrs. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs#textpart-1>. Letzter Zugriff: 07.06.2017